

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 55-158506

(43)Date of publication of application : 10.12.1980

(51)Int.Cl.

G01B 17/02  
B22D 11/16

(21)Application number : 54-066967

(71)Applicant : NIPPON STEEL CORP

(22)Date of filing : 30.05.1979

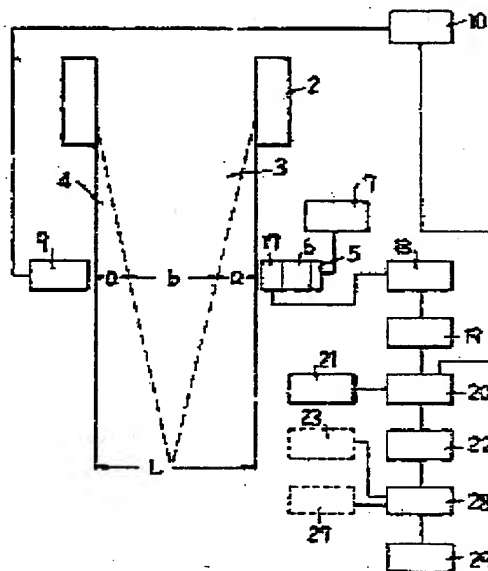
(72)Inventor : SOGA HIROSHI  
KAWASHIMA KATSUHIRO  
MUROTA SHOJI  
NAKAMORI YUKIO

## (54) MEASURING DEVICE FOR THICKNESS OF SOLIDIFIED LAYER OF CASTING

## (57)Abstract:

PURPOSE: To measure the thickness of solidified layer of casting exactly with a simple device by measuring signals from both an ultrasonic wave generator and a receiver by means of a time measuring circuit and by computing the thickness of solidified layer of the casting by means of an arithmetic circuit.

CONSTITUTION: When a pulse current is fed to the ultrasonic wave generating coil 9 from a high frequency pulse power supply 10, an ultrasonic wave is produced, passes through the solidified layer of the cast piece 4 and molten metal of the unsolidified layer and reaches the opposite side. And an eddy current is produced in the surface of the cast piece 4 by an interaction between the oscillating force of the ultrasonic wave and the magnetic field in an iron core 6, which is generated by applying voltage from a power supply 7 to a field coil 5. A gate circuit 20 to which a signal more than a certain level is fed from a detecting coil 17 sends a time pulse produced by a time signal generator 21 to a counting circuit 22. A time signal T is emitted from the counting circuit 22 by the time pulse. The thickness of the solidified layer can be measured in the arithmetic circuit 28 by both the time signal T and a signal of a temperature setter 23.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

⑬ 日本国特許庁 (JP)

⑭ 特許出願公開

## ⑫ 公開特許公報 (A)

昭55—158506

① Int. Cl.<sup>3</sup>  
G 01 B 17/02  
B 22 D 11/16

識別記号

庁内整理番号  
7707—2F  
6769—4E

③ 公開 昭和55年(1980)12月10日

発明の数 1  
審査請求 未請求

(全 6 頁)

## ⑭ 鋳片凝固厚み測定装置

① 特 願 昭54—66967

② 出 願 昭54(1979)5月30日

⑦ 発 明 者 曾我弘  
北九州市八幡東区高見7—6—30

⑧ 発 明 者 川島捷宏  
北九州市八幡東区大蔵1丁目17—45

⑨ 発 明 者 室田昭治  
北九州市八幡西区鉄王2丁目1—18—101

⑩ 発 明 者 中森幸雄  
中間市大字中間489—474

⑪ 出 願 人 新日本製鐵株式会社  
東京都千代田区大手町2丁目6番3号

⑫ 代 理 人 弁理士 青柳稔

## 明 細 書

## 1 発明の名称

鋳片凝固厚み測定装置

## 2 特許請求の範囲

連続鋳造される鋳片の一面に設置されそして高周波パルス電流を通電されるコイルを備えて該鋳片表面に超音波を発生させる電磁超音波発生器と、該鋳片の他面に設置されて該超音波を受信する検出コイルを備える電磁超音波受信器と、これらの超音波発生器および受信器の超音波発生、受信タイミングから、厚みLの該鋳片を超音波が前記一面からその裏側の他面まで伝播するに要する時間Tを求める時間測定回路と、該回路により測定された時間T、推定した厚み $\alpha$ の該鋳片の凝固部を超音波が伝播する速度 $V_1$ 、および同じく推定した厚み $\beta$ の該鋳片の未凝固部を超音波が伝播する速度 $V_2$ から凝固部厚み $\alpha$ を算出する演算回路とからなることを特徴とする鋳片凝固厚み測定装置。

## 3 発明の詳細を説明

本発明は、電磁超音波を用いて連続鋳造にか

ける鋳片凝固厚みを測定する装置に関する。

一般に溶融金属(以下、単に溶湯という)の連続鋳造は第1図に示すように、タンディッシュ1を通して所定の断面状をもった鋳型2内に溶湯3を注入し、下方からこれを鋳片4として連続的に引出して行なう。鋳型2から引き出された鋳片4は最初は内部に未凝固の溶湯3を残しながらも漸次全体が凝固していく。この場合、鋳片引出し経路に沿う各位置の凝固厚みを正確に検出することは、内部の溶湯が表面凝固層を破って外部に漏出する所謂ブレイクアウト事故を防いだり、冷却速度や引拔速度など鋳造条件を最適に制御して安定性、生産性、品質向上を図るのに重要である。

従来から鋳片の凝固厚みを測定することを目的として超音波を利用した種々の方式が提案され、また試験されて来たが、従来方式では水晶、タンデバリウムなど超音波振動子を用いているため、発生させた超音波は水柱を介して鋳片に入射または超音波振動子を内蔵した回転ローンを鋳片に接触させて入射せたりしており、いづれも耐熱

特開昭55-158506(2)

性、入射効率の面から問題があって実用は不可能とされている。

本発明者はこれらの実状に鑑み種々検討した結果、電気および磁気の相互作用によって直接銅片に超音波を発生させ、また該超音波を再び磁気との相互作用で渦電流に変換して検出し、銅片中の超音波の伝播時間から凝固層厚みを計測する所謂電磁超音波方式を案出した。この方式は水柱などの超音波伝達媒体を必要としないので高温の連続製造銅片の厚み測定に最適である。ところでこの電磁超音波測厚方式をその後更に種々検討した結果、幾つかの問題点があることが分った。その1つは反射方式か透過方式かということである。即ち銅片表面に発生させた電磁超音波は銅片内部へ伝播して行き、銅片表面の凝固層と内部未凝固層との界面、および銅片裏面などで反射、透過するから、超音波発生時点から反射波または透過波の受信時点迄の時間を求め、一方凝固層および未凝固層の超音波伝播速度を知れば、これらより凝固層厚および未凝固層厚を算出することが可能であ

3

り、そして反射波を検出する方式の方が超音波発生、受信器を銅片の一面に設置できるので装置な連動設備においては好適である等の理由で主として反射方式が有力な方式として研究開発されてきた。しかしながらその研究結果によれば、凝固層と未凝固層の界面は単純な二層構造ではないらしく、充分な反射波が得られないことが多く有り、凝固層厚測定方法としては確実性に乏しいことが分ってきた。そこで透過方式に切換えて試験を重ねた所、実際とよく合致する確実な測定結果が得られ、透過方式が連続銅片の凝固、未凝固層測厚の実用化可能方式であることが確認された。この透過方式は、本出願人が特開昭52-120542号で既に出願した。

この既出願の方式では、超音波伝播速度は銅片温度の関数であるとの観点から、銅片温度を設定する装置を設けている。しかしながらその後の研究解析結果によれば温度誤差は測厚誤差にそれ程影響を与えないことが分った。銅片各部温度の算出は相当に厄介であり、銅片表面温度検出器、複

4

数を構成の銅片内部温度検算器を必要とする。従って銅片温度算出を止め、予め推定した一定値を使用すれば測定装置の構造を簡単化し、製作費を低減することができる。本発明はかかる背景でなされたものであり、その要旨とする所は連続製造される銅片の一面に設置されそして高周波パルス電流を流すコイルを備えて該銅片表面に超音波を発生させる電磁超音波発生器と、該銅片の他面に設置されて該超音波を受信する検出コイルを備える電磁超音波受信器と、これらの超音波発生器および受信器の超音波発生、受信タイミングから、厚み $h$ の該銅片を超音波が前記一面からその裏面まで伝播するに要する時間 $T$ を求める時間測定回路と、該回路により測定された時間 $T$ 、推定した厚み $a$ の該銅片の凝固部を超音波が伝播する速度 $V_a$ 、および同じく推定した厚み $b$ の該銅片の未凝固部を超音波が伝播する速度 $V_b$ から凝固部厚み $a$ を算出する演算回路とからなることを特徴とする銅片凝固厚み測定装置にある。次に先ず既提案方式を説明し、次に本発明のその改良点を説

5

明する。

第2図は、電磁超音波反射法による高温銅片の厚み計測の原理を示す概略図である。銅片4の近傍に磁界用コイル5ならびに鉄心6を配置して電線7から磁界用コイル5に電圧を印加すると、銅片4内に矢印で示されるような磁界8が発生する。一方、超音波発生用コイル9に高周波パルス電流10からパルス状電流を流すと、銅片4内に誘導により渦電流11が誘起され、渦電流11と磁界8との相互作用の結果フレミングの左手の法則により矢印で示されるパルス状運動力12を生ずる。この運動力12は、以後電磁超音波として矢印13で示される方向に進行する。この電磁超音波が銅片4の他面に到達すると、反射されて矢印14の方向に戻ってくる。矢印14の方向の電磁超音波は、銅片4の表面近くに到達すると、運動力15で該表面を振動させ、これが磁界8との相互作用の結果フレミングの右手の法則により該表面に渦電流16が生ずる。渦電流16は検出用コイル17に誘導電流を生じることによって検出され、増幅・

6

特開昭55-158506(3)

の凝固、未凝固層厚測定に用いると前述の問題がある。

第3図は、透過法による鋼片凝固厚測定装置の概要を示す。鋼片4の表面近傍に超音波発生用コイル9が、また裏面近傍に検出用コイル17が図示のように配置される。5は磁界発生用のコイル、6は同鉄心であり、これらは必発によりコイル9側にも設けられる。なおコイル9の生じる磁界が充分強いと該磁界と誘導電流により超音波が発生し、特に磁界コイル5は設ける必要がない。本例ではこのいわば自己励起方式をとっている。第2図で説明したように高周波パルス電源10により超音波発生用コイル9にパルス電流を流すと、該パルス電流によって生じた磁界と該パルス電流によって鋼片4内に誘起された渦電流との相互作用の結果フレミングの左手の法則によって超音波が発生し、鋼片4の凝固層ならびに未凝固層の層厚3の部分透過して対向する面に到達する。到達した超音波の振動力と、電源7から磁界用コイル5に電圧を印加した結果鉄心6に生じた磁界との

検波回路18によって増幅・検波され、スライス回路19によって設定された値以上の信号がゲート回路20に送られる。時間信号(クロックパルス)発生回路21によって発生されている時間パルスは、高周波パルス電源10の出力パルスおよびスライス回路19の出力で開閉されるゲート回路20を、超音波が発生した瞬間から反射超音波が検出されるまでの間通過し、計数回路22によって計数される。この計数値は超音波が鋼片厚みを往復する時間を示している。一方、鋼片4の温度1は温度計の出力より自動的にまたは手動により温度設定器23に与えられ、温度設定器23からの信号は温度対超音波伝播速度変換器24に与えられ、該温度における超音波伝播速度信号 $V_t$ に変換される。鋼片4の厚み $L$ は、計数回路22からの時間信号 $T$ の $1/2$ の値と、温度・超音波伝播速度変換器24からの超音波伝播速度 $V_t$ とから、 $L = \frac{T}{2} \times V_t$ として厚み計算回路25により計算され、表示装置26により表示される。以上は反射法による測厚であり、これを未凝固部を持つ鋼片

7

8

相互作用によりフレミングの右手の法則で鋼片4の表面に渦電流が発生する。発生した渦電流は検出用コイル17によって検出され、増幅・検波回路18によって増幅・検波される。スライス回路19へは増幅・検波回路18からの信号が送られ、ある設定された値以上の振幅の信号のみがゲート回路20に送られるようにしてある。またゲート回路20は高周波パルス電源10の出力も加えられ、超音波が発生した瞬間から検出された瞬間までの間、開の状態になって時間信号発生回路21が発生した時間パルスを計数回路22へ通す。時間パルスは計数回路22によって計数され、計数回路22から時間信号 $T$ (これは超音波が鋼片の一面から他面まで伝播するに要する時間である)が発せられる。この時間信号 $T$ 、および温度設定器23からの鋼片4の温度信号 $t$ 、鋼片全厚み設定器27からの鋼片全厚み信号 $L$ は、凝固厚み演算回路28に送られ、下式(2)によって凝固厚み $a$ が計算される。

9

$$T = \frac{2a}{V_s(t)} + \frac{b}{V_0} \quad \text{----- (1)}$$

$$a = \frac{V_s(t) \cdot L - V_0(t) \cdot V_0 \cdot T}{2(V_s(t) - V_0)} \quad \text{----- (2)}$$

ここで $a$ および $b$ は第3図に示すように鋼片凝固部分の厚みおよび鋼片未凝固部分の厚みであり、 $V_s(t)$ は凝固部分のまた $V_0$ は未凝固部分の各超音波伝播速度である。

この透過法による測厚は反射法のように反射パルスが得られないという様な問題はなく、正確な測厚が可能であることが実際に確かめられている。ところでこの既提案の方法では凝固部の超音波伝播速度は該凝固部の温度の関数としており、厳密には正しくその通りである。未凝固部の超音波伝播速度は、該部分は過冷却の状態にあってその位置(厚み)に無関係に一定の温度をとるので鋼種により定まる一定値 $V_0$ としており、この仮定が正しいことも確認されている。凝固部の温度は勿論表面側と内側では異なり、詳細には各部の温度を測定することになるが勿論これは実施不可能であ

10

特開昭55-158506(4)

る。しかし表面温度が分ると、未凝固部の温度は上記のように既知(1539℃)であるからその間を演算して算出することが可能である。簡単には表面温度と未凝固部温度の平均値をとってこれを凝固部の温度とすることが出来る。しかしいづれにしても簡便、演算等厄介な工程が入ることになる。そこで本発明では凝固部温度が凝固部厚み算出結果に及ぼす影響を分析してみた。凝固厚み $a$ は前述のように、

$$a = (T - \frac{L}{v_s}) / 2 \left( \frac{1}{v_s} - \frac{1}{v_0} \right) \quad \text{----- (5)}$$

である。なおこゝでは $v_s(t) = v_s$ 、 $v_0 = v_0$ と置いてあり、また $v_s$ 、 $v_0$ で割って式を変形している。(5)式は $T$ 、 $v_s$ 、 $v_0$ 、 $L$ の関数 $f$ と置き、 $a$ の誤差 $\Delta a$ を求めると、

$$\text{但し } \textcircled{1} = \left| \frac{1}{2} \frac{v_0 v_s}{v_0 - v_s} \right|, \textcircled{2} = \left| \frac{1}{2} \frac{(T v_s^2 + D v_s)}{(v_0 - v_s)^2} \right|$$

$$\textcircled{3} = \left| \frac{1}{2} \frac{T v_0^2 - D v_0}{(v_0 - v_s)^2} \right|, \textcircled{4} = \left| \frac{1}{2} \frac{v_s}{v_0 - v_s} \right| \quad \text{である。}$$

表 2

a	目標とする精度 $\Delta a$	$\Delta a$ を達成するために必要な各因子の精度			
		$\Delta v_s$	表面温度	$\Delta T$	$\Delta L$
20	2	110 mm/sec	180℃	0.2 msec	0.8 mm
50	"	442 "	71.8 "	"	"
80	"	272 "	44.2 "	"	"

この表2から分るように凝固厚みが20mmでは表面温度に180℃の誤差があっても目標とする精度を $\Delta a = 2$ mm以内に抑えることができ、 $a = 50$ 、 $a = 80$ の場合は71.8℃、44.2℃の誤差があってもよいことが分る。この程度の誤差が許容されるなら実際に銅片凝固部温度を求めることは不要であり、既知の溶銅温度、銅片引拔速度、送銅1

$$\left| \Delta a \right| \leq \left| \frac{\partial f}{\partial T} \Delta T \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial v_0} \Delta v_0 \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial v_s} \Delta v_s \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial L} \Delta L \right|$$

$$= \left| \frac{1}{2} \frac{v_0 v_s}{v_0 - v_s} \Delta T \right| + \left| \frac{1}{2} \frac{T v_s (v_0 - v_s) - (T v_0 v_s - L v_s)}{(v_0 - v_s)^2} \Delta v_0 \right|$$

$$+ \left| \frac{1}{2} \frac{(T v_0 - L)(v_0 - v_s) + (T v_0 v_s - L v_s)}{(v_0 - v_s)^2} \Delta v_s \right|$$

$$+ \left| -\frac{1}{2} \frac{v_s}{v_0 - v_s} \Delta L \right| \quad \text{----- (4)}$$

となる。 $a = 20, 50, 80$ mm の場合の時間 $T$ 等を求めると次表を得る。但し凝固層の850℃、1539℃における音速をそれぞれ5050m/sec、4600m/secとし、それらの間ではリニアに変換としている。波相での伝播速度は $v_0 = 3950$ m/secとしている。

表 1

a	T	①	②	③	④
20	49 msec	$1.06 \times 10^4$	$1.10 \times 10^{-3}$	$1.82 \times 10^{-3}$	2.70
50	44.2 "	"	$6.90 \times 10^{-3}$	$4.52 \times 10^{-3}$	"
80	43.5 "	"	$2.69 \times 10^{-3}$	$2.32 \times 10^{-3}$	"

次、2次冷却帯における放熱量等から銅片凝固部温度を充分(要求精度内で)算出することが可能である。なおこの演算はその都度行なう必要はなく、一度やれば充分である。従って本発明では温度設定器25および銅片表面温度測定器は除去し、演算回路28では超音波発生、受信器を設置する位置に応じてセットした伝播速度 $v_0$ を用いて演算するようにする。

また既出願の装置では銅片厚み $h$ を設定する装置27を設けているが、これも不要であり、サポートロールのロール間隙等から既知の厚み $L$ を演算回路28にセットしてあげればよい。

以上説明したように本発明では厄介な銅片凝固部温度測定演算等を省略して超音波伝播時間の測定だけで該凝固部厚みを超音波透過法により確実に求めることができ、廉価な実用的な銅片凝固部測定装置を提供することができる。この装置で凝固厚みを測定し、また未凝固部の終了点であるクレータエンドを検出して銅片引拔速度および放熱量の制御、更にはブレイクアウト防止のための

各種対策、鋼片中央部への偏析現象の回避手段作動制御など、連続鋳造で重要な各種制御を正確に行なうことができ、甚だ有効である。

#### 4. 図面の簡単な説明

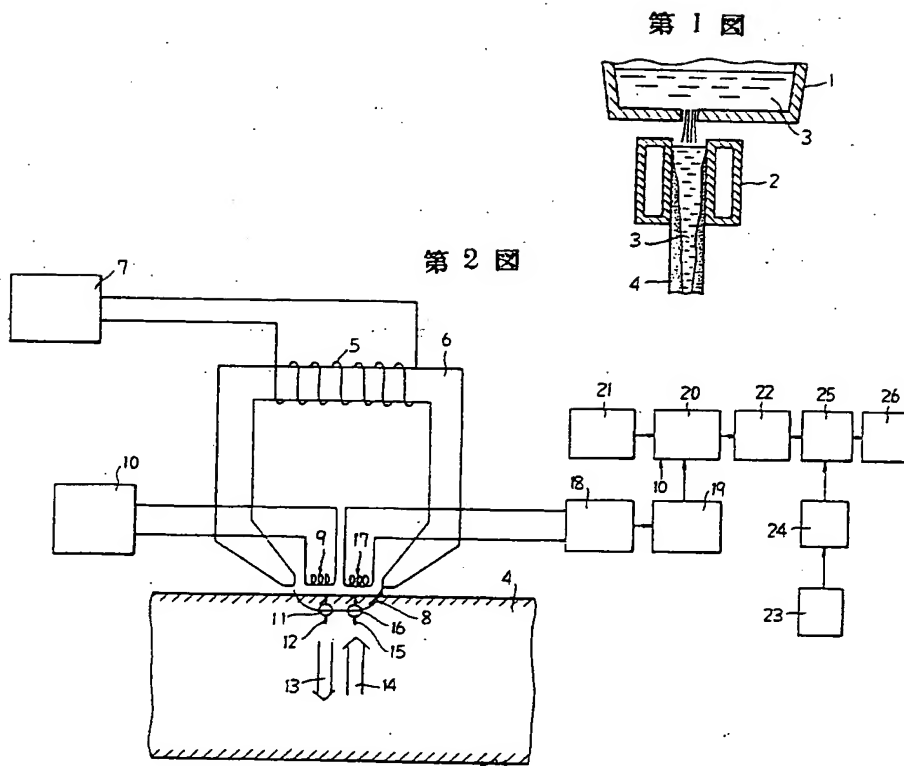
第1図は連続鋳造の原理説明図、第2図は超音波反射法による鋼厚を説明するブロック図、第3図は本発明の実施例を示すブロック図である。

図面で4は鋼片、9はコイル、17は検出コイル、22は時間測定回路、28は演算回路である。

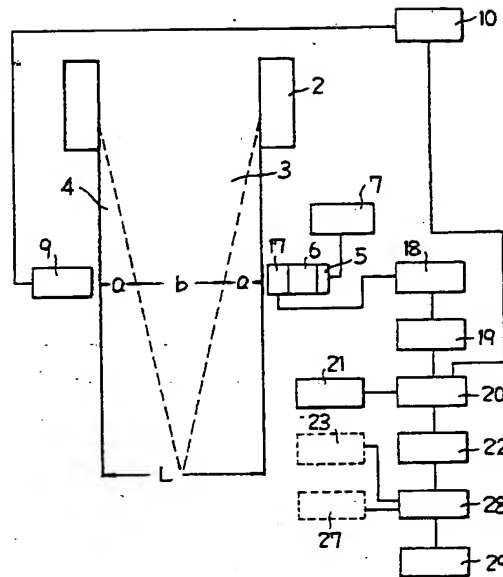
出 願 人 新日本製鐵株式会社  
代理人弁理士 青 柳 雄 雄

15

BEST AVAILABLE COPY



第 3 図



BEST AVAILABLE COPY